

Redes sem Fio

Tecnologia em Redes de Computadores
Prof. Macêdo Firmino

Aula 09

Propagação: Espaço Livre e Ambientes Fechados

“Todos os caminhos inadequados que tomamos ao longo da vida são parte essencial de nossa educação.”
(Hammed)

O que Aprenderemos?

- A importância do estudo da propagação do sinal eletromagnético;
- Quais são os tipos de propagação;
- Calcular a potência recebida por uma antena na propagação em espaço livre (Equação de Friis);
- Determinar se um enlace pode ser enquadrado em espaço livre (Zonas de Fresnel);
- Descobrir o valor das perdas do sinal na propagação em ambientes fechados.

Propagação do Sinal Eletromagnético

O estudo da propagação é importante porque fornece a modelagem física que resulta numa boa estimativa da potência requerida para o estabelecimento do enlace de uma comunicação confiável.

A propagação do sinal eletromagnético pode ocorrer:

- Em espaço livre: percurso livre (linha de visão limpo, desobstruído) entre o transmissor e receptor;
- Em ambientes fechados: percurso obstruído entre o transmissor e receptor, onde ocorre fenômenos de reflexão e difração so sinal.

Modelo de Propagação no Espaço Livre

Equação de Friis: relaciona as potências transmitida e recebidas, ganhos das antenas e as perdas de potência em espaço livre em condições ideais. Ela é muito utilizada em comunicações por satélite, onde a absorção atmosférica é desprezável ou enlaces com distâncias pequenas. Para o enlace dar certo, a potência resultante ($P_R(\text{dB})$) deve superar o nível de sensibilidade do receptor.

Modelo de Propagação no Espaço Livre

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}$$

onde: P_R , P_T , G_T , G_R , d , λ e L são, respectivamente, potência recebida, potência de transmissão, ganho da antena transmissora, ganho da antena receptora, distância em metros do transmissor e receptor e comprimento de onda em metros.

Modelo de Propagação no Espaço Livre

A equação de Friis pode ser simplificada escrevendo em termos do ganho em decibel.

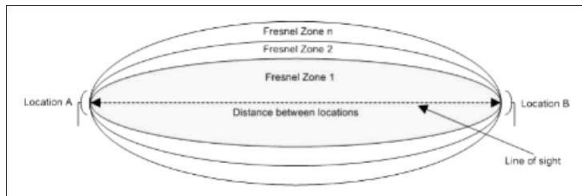
$$P_R(dB) = P_T(dB) + G_R(dB) + G_T(dB) - L_P(dB)$$

$$L_P(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$$

onde $L_P(dB)$ corresponde a atenuação no espaço livre

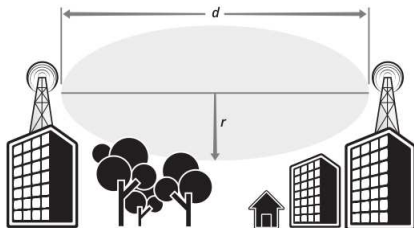
Modelo de Propagação no Espaço Livre

A propagação no espaço livre define regiões entre o transmissor e receptor (denominada de *Zonas de Fresnel*) para analisarmos a presença de obstáculos. Existem várias zonas de Fresnel, mas consideramos somente a primeira zona que representa 95% do sinal. A existência de obstáculos irá resultar em difrações, atenuações e reflexões.



Modelo de Propagação no Espaço Livre

Com 60% de desobstrução na primeira zona de fresnel já ocorrerá comunicação. Entretanto, é fortemente recomendado que, a primeira zona de Fresnel deva estar 80% desobstruída para ocorrer a transmissão com maior confiabilidade.



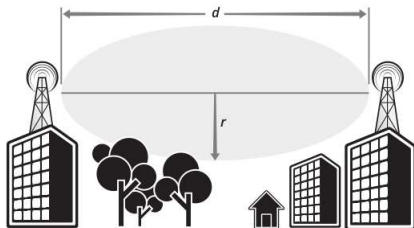
Modelo de Propagação no Espaço Livre



Equação de Fresnel: para determinarmos se existem obstáculos entre o transmissor e receptor na primeira zona de Fresnel devemos determinar o seu raio máximo (r) ocorre no meio do percurso, que é dado pela fórmula:

$$r = 8,657 \sqrt{\frac{d}{f}}$$

onde: r é o raio máxima da primeira zona (em metros) d é a distância entre o transmissor e receptor (em km) e f é a frequência transmitida (em GHz).



Propagação em Ambientes Fechados

Em ambientes fechados não temos ainda uma fórmula matemática que descreve esse fenômeno. Entretanto, temos modelos estatísticos, um dos mais utilizados é dada pela fórmula:

$$L(dB) = \beta(dB) + 10\log_{10}\left(\frac{r}{r_0}\right)^n + \sum_{p=1}^p WAF(p) + \sum_{q=1}^q FAF(p)$$

onde: $L(dB)$ é a perda por propagação em ambientes fechados, β é perda de propagação relacionada a frequência, r é a distância entre transmissor e receptor, r_0 é a distância de referência (tipicamente 1m), n é o expoente de perda do percurso (de 2 a 5, dependendo do meio), $WAF(p)$ é o fator de atenuação devido à parede, $FAF(q)$ é o fator de atenuação devido ao piso, p e q representam a quantidade de paredes e pisos que separam o transmissor e receptor, respectivamente.

Propagação em Ambientes Fechados

Uma simplificação seria se considerarmos apenas a perda de propagação em espaço livre mais as perdas causadas pelas paredes e pisos.

$$L(dB) = L_p(dB) + \sum_{p=1}^p WAF(p) + \sum_{q=1}^q FAF(p)$$

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$$

onde: $L_p(dB)$ é a atenuação na propagação em espaço livre, r distância entre transmissor e receptor, λ é o comprimento de onda.

Exercício

01. Se um transmissor produz $50W$ de potência aplicados a antenas de ganho unitário (G_T e $G_R = 1$) com frequência de portadora de 900 MHz , responda:

- a) Expresse a potência de transmissão em dBm;
- b) Ache a potência recebida em dBm a uma distância de 100 m ;
- c) Considerando a sensibilidade do receptor de -70 dBm o enlace terá sucesso?

Exercício

a) Expresse a potência de transmissão em dBm;

$$\begin{aligned}P_T &= 50W = 50 * 10^3 mW \\P_T(dBm) &= 10\log P_{mW} \\P_T(dBm) &= 10\log(50 * 10^3) \\P_T(dBm) &= 47dBm\end{aligned}$$

Exercício

b) Ache a potência recebida em dBm a uma distância de 100 m; $P_T(dB) = 47$ dBm, $G_T = G_R = 1$, $d = 100$ m, $f = 900$ MHz, $c = 3 * 10^8$ m/s (velocidade da luz no vácuo).

- Encontrando o comprimento de onda (λ):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{900 * 10^6}$$

$$\lambda = \frac{1}{3} = 0,33$$

- Encontrando a perda no espaço livre:

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$$

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4 * 3,14 * 100}{0,33}\right)$$

$$L_p(dB) = 71,6 dB$$

Exercício

b) Ache a potência recebida em dBm a uma distância de 100 m; $P_T(dB) = 47$ dBm, $G_T = G_R = 1$, $d = 100$ m, $f = 900$ MHz, $c = 3 * 10^8$ m/s (velocidade da luz no vácuo).

$$P_R(dB) = P_T(dB) + G_R(dB) + G_T(dB) - L_P(dB)$$

$$P_R(dB) = 47 + 1 + 1 - 71,6$$

$$P_R(dB) = -22,6dBm.$$

Exercício

c) Considerando a sensibilidade do receptor de -70 dBm o enlace terá sucesso?

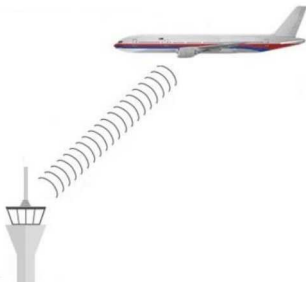
$$P_R(\text{dBm}) = -22,6\text{dBm}$$

$$S_R(\text{dbm}) = -70\text{dBm}$$

Como a sensibilidade é de -70dBm , ou seja, chegando um sinal com potência de até -70dBm , o receptor conseguirá processar. E como a potência recebida é de $-22,6\text{dBm}$, o enlace terá sucesso.

Exercício

02. Considere um enlace com frequência de 118,1MHz entre a torre de um aeroporto e uma aeronave (distância de 150km). A potência de transmissão na torre, o ganho da antena transmissora, o ganho da antena receptora no avião são, respectivamente, 100W, 5 dB_i , 7 dB_i . Determine a potência, em dBm , captada na antena receptora. (**Resp.** $-55,441dBm$)



Exercício

- Encontrando o comprimento de onda (λ):

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 * 10^8}{118,1 * 10^6}$$

$$\lambda = 2,54m$$

- Encontrando a potência de transmissão em dBm:

$$P_T = 100W = 100 * 10^3 mW$$

$$P_T(dBm) = 10 * \log P_{mW}$$

$$P_T(dBm) = 10 * \log(100 * 10^3)$$

$$P_T(dBm) = 50dBm$$

Exercício

- Encontrando a perda no espaço livre (L_p):

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)$$

$$L_p(dB) = 20 \log\left(\frac{4\pi * 150 * 10^3}{2,54}\right)$$

$$L_p(dB) = -117,41$$

- Encontrando a potência recebida em dBm:

$$P_R(dBm) = P_T(dBm) + G_R(dB) + G_T(dB) - L_P(dB)$$

$$P_R(dBm) = 50 + 5 + 7 - 117,41$$

$$P_R(dBm) = -55,41dBm.$$



Exercício

03. Considere um enlace de 2,4 GHz, com o transmissor e receptor distantes em 2 Km. A linha de visada está a uma altura de 50 metros do solo. Durante o percurso temos apenas um obstáculo que é uma montanha com uma altura de 30 metros referente ao solo. Será que o enlace irá funcionar satisfatoriamente (com mínima perda de pacotes)?

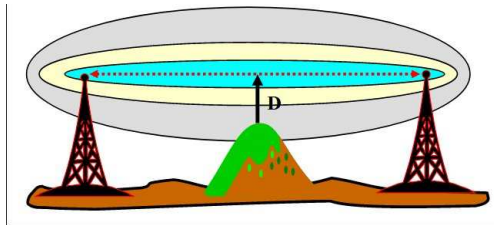
Exercício

03. Considere um enlace de 2,4 GHz, com o transmissor e receptor distantes em 2 Km. A linha de visada está a uma altura de 50 metros do solo. Durante o percurso temos apenas um obstáculo que é uma montanha com uma altura de 30 metros referente ao solo. Será que o enlace irá funcionar satisfatoriamente (com mínima perda de pacotes)?

$$r = 8,657 \sqrt{\frac{2}{2,4}}$$

$$r = 7,90m$$

Exercício



Como distância entre a linha de visada e o apartamento é de $(50 - 30 = 20$ metros), como o raio máximo é de 7,9 metros, a montanha não entra no raio da primeira zona de Fresnel e o enlace irá ocorrer com a mínima perda de pacotes.

Dúvidas

